

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. Dezember 2000 (14.12.2000)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 00/74897 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: B24C 1/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/05323

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. Juni 2000 (08.06.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
199 26 119.9 8. Juni 1999 (08.06.1999) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54.
D-80636 München (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WERNER, Dieter
[DE/DE]; Berneckstrasse 7, D-70569 Stuttgart (DE).
ZORN, Christof [DE/DE]; Ulrich v. Hutten Strasse 14,
D-70825 Kornthal (DE).

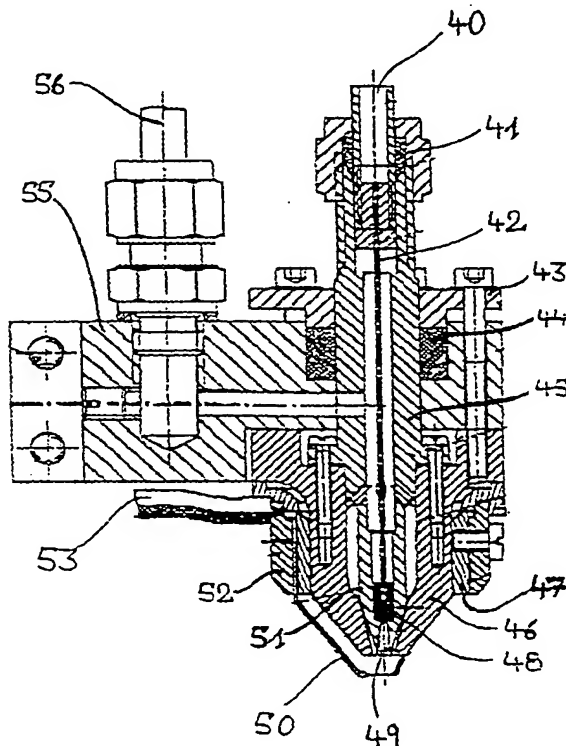
(74) Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR:
Mozartstrasse 17, D-80336 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AU, BA,
BB, BG, BR, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, DZ, EE, GD,
GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KP, KR, LC, LK, LR, LT.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: JET SPRAY TOOL AND DEVICE CONTAINING A JET SPRAY TOOL

(54) Bezeichnung: STRAHLWERKZEUG UND VORRICHTUNG ENTHALTEND EIN STRAHLWERKZEUG



(57) Abstract: The invention relates to a jet spray tool (2) and to a device for treating, especially for cleaning, surfaces (1) using a CO₂ snow stream (5). According to the invention, the jet spray tool (2) comprises a first nozzle (49) for producing a CO₂ snow stream and has a second nozzle (51) for producing a support or pressure stream, whereby the second nozzle (51) surrounds the first nozzle (49) in a concentric manner, and whereby a supersonic stream of a pressure/support gas is produced by the second nozzle (51).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Strahlwerkzeug (2) sowie auf eine Vorrichtung zur Behandlung, insbesondere zur Abreinigung von Oberflächen (1) mittels eines CO₂-Schnee-Strahles (5). Erfindungsgemäß weist das Strahlwerkzeug (2) zur Erzeugung eines Strahles aus CO₂-Schnee eine erste Düse (49) zur Erzeugung eines CO₂-Schnee-Strahles und eine zweite Düse (51) zur Erzeugung eines Stütz- bzw. Druckstrahles auf, wobei die zweite Düse (51) die erste Düse (49) konzentrisch umgibt und wobei mittels der zweiten Düse (51) ein überschallschneller Strahl eines Druck-/Stützgases erzeugt wird.

WO 00/74897 A1

BEST AVAILABLE COPY



LV, MA, MD, MG, MK, MN, MX, MZ, NO, NZ, PL, RO,
SG, SI, SK, SL, TR, TT, TZ, UA, US, UZ, VN, YU, ZA.

- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- Mit internationalem Recherchenbericht.
- Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

1 JC05 Rec'd PCT/PTO 18 MAR 2005

Strahlwerkzeug und Vorrichtung enthaltend ein
Strahlwerkzeug

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein
5 Strahlwerkzeug sowie auf eine Vorrichtung zur Behandlung, insbesondere zur Abreinigung von Oberflächen mittels eines CO₂-Schnee-Strahles. Derartige Strahlwerkzeuge und Vorrichtungen werden in der optischen Industrie, der Medizintechnik, der pharmazeutischen
10 Industrie, der Lackiertechnik, der Mikro- und Feinwerktechnik zur Behandlung von Oberflächen, u.a. zur Behandlung weicher Oberflächenbeschichtungen, Gele und dergleichen verwendet. Die Basis dieses Behandlungs- bzw. Reinigungsverfahrens ist die Reinigung
15 mittels CO₂-Eiskristallen. Das Verfahren wird auch zur trockenen lokalen Akreinigung teilchenförmiger und filmischer Verunreinigung von strukturierten sowie aus Elementen unterschiedlicher Materialien zusammengesetzten Oberflächen bis in den Submikrometerbereich eingesetzt.
20

Die fortschreitendene Miniaturisierung bei gleichzeitiger Hybridisierung von Baugruppen verlangt nach einem Reinigungsverfahren, welches ein lokales Reinigen von Funktionsflächen erlaubt, ohne dabei angrenzende Bereiche durch Querkontamination zu verunreinigen. Der Einsatz herkömmlicher Reinigungsverfahren, wie z.B. Ultraschall oder der Einsatz aggressiver Chemikalien ist aufgrund von Materialunverträglichkeiten nur noch selten möglich. Das Strahlen mit CO₂-Partikeln stellt hier eine interessante Alternative dar.

Die CO₂-Eisreinigung ist ein trockenes, tiefkaltes, rückstandsfreies Strahlverfahren mit breitem Anwendungsgebiet. Prinzipiell läßt sich das Trockeneisstrahlen in zwei verschiedene Verfahren einteilen - dem Reinigen mit luftgetragenen Trockeneispellets und der Reinigung mittels CO₂-Schnee.

Das Strahlen mit Trockeneispellets wird seit 1987 zum Entlacken und Reinigen von Flugzeugkomponenten und Flugzeugen verwendet. Vor allem aufgrund der Eigenschaft von Trockeneis, während des Reinigungsprozesses zu sublimieren und somit kein kontaminiertes Reinigungsmittel zu hinterlassen, konnten Teile in eingebautem Zustand gereinigt und die Reinigungskosten an Flugzeugen bis zu 50 % gesenkt werden.

Heute hat sich das Strahlen mit Trockeneispellets bereits in vielen Bereichen wie z. B. der Entlackung von Flugzeugen, der Fassadenreinigung oder dem Beseitigen grober Verschmutzungen an Maschinen durchgesetzt. Seine Stärke der rückstandsfreien Reinigung spielt es besonders in der Baugruppenreinigung bereits installierter Anlagen aus.

Die Reinigungswirkung stützt sich dabei grundsätzlich auf drei Mechanismen. Zum einen werden beim Auftreffen der CO₂-Kristalle auf die Oberfläche die Verunreinigung bzw. die Beschichtung auf der Oberfläche stark unterkühlt, wodurch diese schrumpfen und verspröden. Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnung von Grundmaterial und Verschmutzung bzw. Beschichtung entstehen Spannungen so daß die Verbindung zwischen der Verschmutzung und dem Grundmaterial gelockert bzw. gelöst wird. Weiterhin wird durch den von den CO₂-Pellets übertragenen Impuls die versprödeten Verunreinigung weiter gelöst und mechanisch abgetragen. Zuletzt wird das durch die Trockeneispellets abgelöste Material durch das sublimierte CO₂ und ggf. weiteres Stützgas in der Schwebe gehalten und von der Reinigungszone abtransportiert.

Das Strahlverfahren unter Verwendung von Trockeneispellets ist beispielsweise in "Kantig oder rund, Metallsalze und Kohlendioxidpellets sind exotische Mittel in der Strahltechnik" von Reinhold Schäfer in Maschinenmarkt Würzburg 98 (1992) beschrieben.

Nachteilig an der Strahltechnik unter Verwendung von Trockeneispellets ist, daß die Abkühlung während und nach der erfolgten Reinigung eine Rekontamination der Oberfläche durch Abscheidung vormals in der Luft enthaltener und während der Abtrocknung des CO₂-Eisfilms zurückbleibender Stoffe bewirkt. Insbesondere schlägt sich auf der abgekühlten Oberfläche im Anschluß an die Abstrahlung die Umgebungsfeuchtigkeit nieder, so daß der zu reinigende Gegenstand feucht wird.

Alternativ können als Strahlmittel statt Trocken-
eispellets auch Trockeneiskristalle verwendet werden.
In diesem Falle wird ein Strahl aus CO₂-Schnee er-
zeugt, der unter hoher Geschwindigkeit auf die zu
5 reinigende Oberfläche gestrahlt wird.

Zur Verhinderung der durch Resublimieren der Luft-
feuchtigkeit während der Reinigung stattfindenden
Vereisung der Oberfläche, durch die ein weiteres rei-
10 nigendes Einwirken der CO₂-Schnee-Kristalle erschwert
bis verhindert wird, sind nach dem Stand der Technik
zwei Methoden bekannt. Zum einen wird eine beheizte
Platte als Unterlage des Reinigungsgutes verwendet,
um das Reinigungsgut möglichst rasch nach dem Über-
15 streichen des Trockeneisstrahles wieder zu erwärmen.
Die Wirksamkeit dieses Verfahrens als Einzelmaßnahme
ist durch das Material, die Geometrie und die Baugrö-
ße des Reinigungsgutes teilweise stark beeinträchtigt
oder gar nicht gegeben. Alternativ kann der CO₂-
20 Schnee-Strahl von einem Hüllstrahl umgeben werden,
der beheizt wird. Damit wird beim Überstreichen einer
Oberfläche durch den CO₂-Strahl unmittelbar anschlie-
ßend die Oberfläche wieder durch den Stützstrahl auf-
gewärmt, so daß die Kondensation der Luftfeuchtigkeit
25 verringert bzw. verhindert wird. Dieses Verfahren be-
wirkt jedoch eine unerwünschte Aufheizung des CO₂-
Eis-Strahles durch den warmen Stützstrahl, so daß die
Wirksamkeit des Strahlverfahrens beeinträchtigt wird.
Ein derartiges Verfahren ist in der US 5,725,154 be-
30 schrieben.

Nachteilig am Strahlverfahren unter Verwendung von
CO₂-Schneekristallen ist, daß diese einen erheblich
geringeren Impuls als die Trockeneispellets mit einem
35 Durchmesser von mehreren Millimetern besitzen, so daß
die Reinigungswirkung verglichen mit Trockeneis-

pellets erheblich geringer ist.

In der US 5 725 154 wird vorgeschlagen, ein induktives Magnetfeld zu erzeugen, um die Aufladung des heranfließenden flüssigen CO₂ zu kompensieren. Die durch Ladungstrennung bei der Expansion des CO₂ und der Auskristallisierung des CO₂-Schnees erfolgende Ionisierung wird nicht kompensiert.

Problematisch bei all diesen Verfahren nach dem Stand der Technik ist die Querkontamination von Oberflächenbereichen durch den Abtrag, der an anderer Stelle durch den CO₂-Eisstrahl erzeugt wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Strahlwerkzeug und eine dieses enthaltende Strahlvorrichtung zur Verfügung zu stellen, mit der Oberflächen einfach und zuverlässig ohne Rekondensation von Wasser oder Querkontamination behandelt, insbesondere abgestrahlt werden können.

Diese Aufgabe wird durch das Strahlwerkzeug nach Anspruch 1 und die Vorrichtung nach Anspruch 19 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Strahlwerkzeuges und der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden in den abhängigen Ansprüchen gegeben. Erfindungsgemäß können das erfindungsgemäße Strahlwerkzeug und die erfindungsgemäße Vorrichtung wie in den Ansprüchen 35 bis 38 angegeben, verwendet werden.

Durch das erfindungsgemäße Strahlwerkzeug wurden folgende Verbesserungen erzielt:

Zum einen wird eine sehr hohe Strahlgeschwindigkeit durch Verwendung einer Lavaldüse erzielt, so daß die sehr kleinen Eiskristalle durch das sich auf der zu

reinigenden Oberfläche bildende Gaspolster geschossen werden können. Weiterhin wird die statische Aufladung des festen Kohlendioxid-Schnees, die ein Problem bei der Reinigung elektronischer Bauteile darstellt, mittels der Ionisierungsvorrichtung aufgehoben. Weiterhin wird durch die Düse und durch die erfindungsgemäße Einrichtung der Reinigungsvorrichtung eine Laminarströmung in der Reinigungskammer erzeugt, so daß keine Schmutznester innerhalb der Reinigungsanlage gebildet werden. Insbesondere ist der Strahldurchmesser äußerst gering, so daß er sich für Anwendung in der Mikrosystem- bzw. Feinwerktechnik eignet und die Anlage flexibel in der Produktion von Mikrosystemen eingesetzt werden kann. Das Strahlwerkzeug ist voll beweglich und der Reinigungsablauf ist ohne weiteres automatisierbar. Insgesamt ergibt sich ein hoher Wirkungsgrad bei einer kurzen Reinigungszeit.

Durch die erfindungsgemäße Absaugvorrichtung wird vorteilhafterweise das aufgestrahlte, sublimierte CO₂ und der volumenstarke Stütz- bzw. Druckstrahl, der ohne weitere Umlenkung vom Probenstück abströmt, aufgefangen und anschließend von dort abgesaugt, wodurch eine Querkontamination anderer Oberflächenbereiche zuverlässig minimiert wird. Die erfindungsgemäße Absaugvorrichtung erzeugt auch keinerlei Wirbel oder dergleichen außerhalb der Absaugvorrichtung selbst, so daß die Laminarströmung der anfließenden Luft nicht gestört wird und deren Reinheit zuverlässig erhalten bleibt.

Insgesamt ergibt sich ein sehr hoher Wirkungsgrad bei kurzer Behandlungsdauer unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Strahlwerkzeuges. Weitere vorteilhafte Eigenschaften sind ein einfacher, kompakter Geräteaufbau, eine hohe

Gerätesicherheit, geringe Anlagen,- Betriebs- und Wartungskosten, ein hoher Automatisierungsgrad, gute Reproduzierbarkeit des Reinigungsergebnisses sowie eine einfache Handhabung der Vorrichtung und des Strahlwerkzeuges.

Insgesamt ist eine schnelle und vereisungsfreie Reinigung von Bauteilen während der Produktion möglich unter Wegfall komplizierter und aufwendiger Reinigungsvorbereitungen. Mit dem erfindungsgemäßen Trockeneisstrahlverfahren kann eine Vielzahl von Materialien gereinigt werden, sofern sie dem kurzzeitig auftretenden Temperaturschock widerstehen. Bei den auftretenden Strukturen gibt es nur geringfügige Einschränkungen, da es sich beim Trockeneisstrahlen wie bei allen Strahlverfahren um ein Sichtlinienverfahren handelt. Daher können nur Oberflächen abgereinigt werden, die in Strahlrichtung liegen. Das Reinigen von uneinsehbaren Hinterschneidungen ist somit nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Gleiches gilt für Vertiefungen mit relativ großem Aspektverhältnis, die sich relativ rasch mit sublimiertem CO_2 füllen und so das weitere Eindringen der Eiskristalle behindern oder gar verhindern.

Im folgenden wird ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Strahlwerkzeuges und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung beschrieben. Dabei werden in sämtlichen Figuren gleiche Teile mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

Es zeigen

Fig. 1 das erfindungsgemäße Strahlverfahren;

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Vorrichtung;

Fig. 3 ein erfindungsgemäßes Strahlwerkzeug;

Fig. 4 eine erfindungsgemäße Absaugvorrichtung;

5

Fig. 5 einen Schnitt durch die erfindungsgemäße Absaugvorrichtung nach Fig. 4;

10

Fig. 6 ein Reinigungsergebnis nach dem erfindungsgemäßen Verfahren; und

Fig. 7 ein weiteres Reinigungsergebnis nach dem erfindungsgemäßen Verfahren.

15

Fig. 1 zeigt schematisch das erfindungsgemäße Verfahren. Eine Oberfläche eines Objektes 1, beispielsweise eines Probentisches wird mit CO_2 -Eiskristallen (CO_2 -Schnee) 3 aus einer Sprühdüse 2 bestrahlt. Der CO_2 -Schnee bildet dabei einen CO_2 -Strahl 5, der eine Verunreinigung 4 von der Oberfläche des Objektes 1 abstrahlt. Dabei treten zwei Wirkmechanismen auf. Mit a ist ein Wirkmechanismus beschrieben, bei dem ein CO_2 -Kristall 3 auf die Oberfläche des Objektes 1 auftrifft und dabei die Verunreinigung 4 absprengt. Mit b ist ein anderer Mechanismus beschrieben, bei dem der CO_2 -Schneekristall auf die Oberfläche des Objektes 1 auftrifft und dort sublimiert. Bei dieser Sublimation wird durch den Gasdruck die Verunreinigung 4 von der Oberfläche des Objektes 1 gelöst und wird von dem abfließenden CO_2 mitgenommen.

20

25

30

Fig. 2 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Behandeln, insbesondere zum Abstrahlen von

35

5 Oberflächen.

10 Diese erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Reini-
gungskammer 36 auf, in der ein Probentisch 1 und ein
Strahlwerkzeug 2 zur Erzeugung eines CO₂-Schnee-
15 Strahles 5 angeordnet sind und von laminar anflie-
ßender Luft umströmt sind. Der gewöhnlich senkrecht
zum Probenträger 1 ausgerichtete Gasstrahl 5 aus dem
Strahlwerkzeug 2 wird an den meist flachen Reini-
gungsobjekten bzw. am Probentisch 1 selbst um 90° um-
15 gelenkt und strömt radial vom Auftreffpunkt und par-
allel zum Probentisch 1 ab. Durch die hohe Strö-
mungsgeschwindigkeit und das entstehende Gasvolumen
ist es nicht möglich, das abgelöste Material lokal an
der Wirkungsstelle abzusaugen. Die Absaugung der Pro-
20 zeßgase erfolgt daher außerhalb des Probentisches 1
mittels der Strömungsfalle 21, die seitlich zu dem
Probentisch 1 in der Ebene seiner Oberfläche und den
Probentisch vollständig umgebend angeordnet ist. Die-
se Strömungsfalle 21 fängt das als Oberflächen-
25 strömung 35 abströmende CO₂, das von dem CO₂-Schnee-
Strahl 5 auf der Oberfläche des Probentisches 1 er-
zeugt wird, seitlich auf.

30 Der Probentisch 1 ist in allen drei Dimensionen be-
weglich, über eine Heizung 22 beheizbar und ist von
unterhalb über ein Ventil 24 und einen Vakuumanschluß
23 an einer Vakuumleitung angeschlossen. Der Proben-
tisch 1 besteht aus einer metallischen Lochplatte, so
daß mittels dieses Unterdruckes abstrahlende Objek-
35 te auf der Oberfläche des Probentisches 1 fixiert
werden können. Weiterhin ist ein Regler 25 für die

Heizung 22 des Probentisches 1 vorgesehen, um diesen auf eine konstante Temperatur zu bringen.

5 In der Probenkammer wird eine Laminarströmung 6 erzeugt, die längs der Wände 36 der Reinigungskammer und in Richtung des CO₂-Schnee-Strahles 5 fließt.

10 Dem Strahlwerkzeug 2 wird über einen Kühler 26, einen Filter 27 und ein Hochdruckventil 28 flüssiges CO₂ aus einem CO₂-Behälter 34 zugeführt. In gleicher Weise wird der Strahlvorrichtung 2 über eine Armatur mit Druckminderer 32, ein Hochdruckventil 30 und ein weiteres Ventil 31 gasförmiges N₂ aus einem N₂-Behälter 33 zugeführt. Die beiden Hochdruckventile 28 und 30
15 sind an eine Steuerung 29 angeschlossen.

Damit besteht die beschriebene erfindungsgemäße Vorrichtung im Kern aus folgenden Komponenten:

- 20 1. Eine mit Reinstluft durchströmte Reinigungskammer 36 (z.B. Reinheitsklasse 1 gemäß VDI 2083 Blatt 1, Strömungsgeschwindigkeit 0,4 m/s),
- 25 2. ein Strahlwerkzeug 2 mit einer Beschleunigungs- und Mischdüse sowie einer Ionisierungseinheit (nicht gezeigt),
3. der Absaugvorrichtung 21,
- 30 4. einer Aufbereitungsanlage (nicht gezeigt) für das von der Absaugvorrichtung 21 abgesogene Gas, und
- 35 5. einem beheizten Probentisch 1.

Diese erfindungsgemäße Vorrichtung erzeugt eine tur-

bulenzarme Reinstluftströmung in der Reinigungskammer 36, die so gerichtet ist, daß das Strahlwerkzeug 2 vor dem Probenstisch 1 liegt und der Probenstisch 1 senkrecht prallend angeströmt wird. In Kombination mit der Absaugvorrichtung; 21 wird daher eine durch die Injektionswirkung des Reinigungsstrahles erfolgende unkontrollierbare Verunreinigung aus der Luft vermieden. Zugleich wird verhindert, daß sich mit der Zeit Schmutznester im Bereich der gesamten Anlage bilden.

Das Strahlwerkzeug 2 setzt sich im wesentlichen aus zwei ineinander integrierten Düsen zusammen: Zum einen als erste Düse eine Kapillare, durch die das unter hohem Druck verflüssigte Kohlendioxid geleitet wird. Am konisch erweiterten Ende der Kapillare tritt das flüssige Kohlendioxid aus, wobei etwa 55 % der Masse durch Expansion verdampft und etwa 45 % sich durch Resublimation zu kleinen Kristallen, zu dem CO₂-Eisschnee, verfestigt. Die Menge des ausströmenden CO₂ kann durch Variation und des Kapillardurchmessers eingestellt werden.

Zum anderen weist das Strahlwerkzeug 2 eine zweite Düse auf, die konzentrisch die erste Düse und die Kapillare umschließt. Diese zweite Düse ist eine Laval-düse, die bei Raumtemperatur überschallschnelles, trockenes Druckgas (N₂) ausstößt. Durch dieses Druckgas wird zum einen der Trockeneisschnee-Strahl gestützt und weiterhin zu einem parallelen Strahl gebündelt und beschleunigt.

Dieser Druck- bzw. Stützstrahl kann zeitversetzt zu dem CO₂-Schnee-Strahl gestartet bzw. beendet werden, so daß bei einem Zuschalten des CO₂-Schnee-Strahls nach dem Start des Druckgasstrahles die Umgebungsluft

5 vom Reinigungspunkt ferngehalten wird. Damit wird die Kondensation von Luftfeuchtigkeit an dem durch den Reinigungsstrahl gekühlten Reinigungspunkt erfolgreich unterbunden. Zum selben Zweck kann der Stützstrahl erst nach dem CO₂-Schnee-Strahl abgeschaltet werden.

10 Der Stützstrahl aus trockenem Druckgas führt weiterhin dazu, daß die Substratoberfläche nach erfolgter Reinigung am Reinigungspunkt rasch wieder erwärmt wird.

15 Fig. 3 zeigt einen Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes Strahlwerkzeug, das nunmehr genauer beschrieben werden soll.

20 Das Strahlwerkzeug setzt sich im wesentlichen aus zwei ineinander integrierte Düsen zusammen: Eine Kapillare 42, durch die das unter hohem Druck verflüssigte CO₂ geleitet wird und an deren konisch erweiterten Ende 49 das CO₂ expandiert. Hierbei entsteht ein Gemisch aus Gas- und Trockeneisschnee. Der Schneeanteil beträgt ungefähr 45 % der ausströmenden Gesamtmasse. Die Menge des ausströmenden CO₂ kann
25 durch Variation des Durchmessers der Kapillare 42 eingestellt werden.

30 Weiterhin wird die Kapillare 42 konzentrisch von einer speziellen Lavaldüse 51 umschlossen, aus der über eine Leitung 56 zugeführtes, trockenes Druckgas (Reinstluft oder Reinststickstoff) überschallschnell ausströmt. Dieser Druckgasstrahl bündelt den Stahl aus Trockeneisschnee zu einem Parallelstrahl und beschleunigt diesen. Zusätzlich wird durch diesen
35 Druckgas-Stützstrahl die Umgebungsluft vom Reinigungspunkt ferngehalten und die Substratoberfläche

nach erfolgter Reinigung recht schnell wieder erwärmt. Die Kondensation von Luftfeuchtigkeit wird somit erfolgreich unterbunden.

5 Die Lavaldüse 51 wird durch die Außenkontur einer Düsennadel 45, die die Kapillare 42 enthält und durch die Innenkontur eines Düsenkopfes 46 gebildet. Die Lavaldüse 51 kann durch Veränderung des minimalen Querschnitts mittels Verschiebens der Düsennadel 45
10 relativ zum Düsenkopf 46 feinjustiert und optimal eingestellt werden. Die Fixierung erfolgt dann durch Unterlegen von geeigneten Distanzscheiben zwischen einem an der Düsennadel 45 angeordneten Flansch 43 und dem Düsenkopf 46.

15 Sowohl das flüssige CO_2 als auch das Druckgas wird über die Düsennadel 45 zugeführt. Das Druckgas strömt dann zur Beruhigung über vier einlaßseitig an der Lavaldüse 51 angeordnete sternförmigen Bohrungen in die Vorkammer der Lavaldüse 51. Aus der Lavaldüse strömt
20 das Druckgas mit Überschall, drallfrei und symmetrisch aus.

Das CO_2 wird über die Kapillare 42 zugeführt, die im
25 Kanal der Düsennadel 45 geführt wird. Ein Stopfen 48 am unteren Ende der Düsennadel 45 zentriert die Kapillare 42 und dichtet zugleich den Druckgaskanal nach unten ab. Am oberen Ende wird der Druckgaskanal durch die CO_2 -Leitung 40 und deren Verschraubung 41
30 verschlossen.

Da das CO_2 aufgrund von Druckänderung innerhalb der Geometrie der Lavaldüse 51 den Aggregatzustand wechseln würde, sind die beiden Düsen, die Lavaldüse 41
35 und die am Ende der Kapillare 42 ausgebildete Schneidüse 49 so angeordnet, daß das Stützgas erst dem fer-

tigen Trockeneisschnee-Strahl zugemischt wird. Ansonsten wäre die Funktion des Strahlwerkzeugs nicht gewährleistet.

5 Abgedichtet wird das ganze System durch zwei Dichtungen, nämlich einer Packung 44 mit Flansch 43 sowie einer dünnen Metallfolie zwischen Düsenkopf 46 und einer Anschlußplatte 55.

10 Am Düsenende ist ein Metallring 50 mit drei Ionisationsspitzen durch einen Isolator 47 isoliert angebracht, der über ein Hochspannungskabel 53 mit einem regelbaren Ionisator verbunden ist. Über die Ionisationsspitzen des Metallrings 50 wird die stark negative
15 Aufladung des CO₂-Strahles beim Kristallisieren des CO₂ am Ausgang der Kapillare 42 durch kontinuierliches Deionisieren kompensiert.

Weiterhin ist die Kapillare 42 mittels eines Massekabels geerdet, so daß die Ladungstrennung in der
20 Randschicht des durch die Kapillare strömenden flüssigen CO₂ hinreichend aufgehoben wird.

Die Absaugung des vom Trockeneisstrahl abgelösten Materials direkt an der Wirkungsstelle, ist aufgrund
25 der hohen Strömungsgeschwindigkeit und des entstehenden Gasvolumens mit einer herkömmlichen Absaugvorrichtung nicht möglich. Daher wurde eine erfindungsgemäße Absaugvorrichtung 21 eingesetzt.

30 Fig. 4 zeigt einen Querschnitt durch die Ebene des Probestisches 1. Der Probestisch 1 ist vollständig von einem Absaugrohr 65 der Absaugvorrichtung 21 in der Ebene des Probestisches 1 umgeben. Der gewöhnlich
35 senkrecht zum Probesträger ausgerichtete Gasstrahl 5 wird an den meist flachen Reinigungsobjekten bzw. am

Probentisch selbst um 90° umgelenkt und strömt radial vom Auftreffpunkt auf der Oberfläche des Objektes oder des Probentisches als laminare Strömung 35 ab. Die Absaugung der Prozeßgase erfolgt bei der erfindungsgemäßen Absaugvorrichtung 21 daher nur außerhalb des Probentisches. Wie in Fig. 5 zu erkennen ist, weist das Absaugrohr 65 einen nierenförmigen Querschnitt mit Einbuchtungen in der Ebene des Probentisches 1 auf. Auf der Seite des Probentisches 1 ist diese Einbuchtung als Gaseinlaßöffnung geöffnet. Das vom Probentisch 1 abströmende Gas 35 trifft folglich auf die Innenwand des Absaugringes 65 und wird, unterstützt durch den Mittenknick 66 aufgrund der nierenförmigen Einschnürung in der Ebene des Probentisches 1, nach oben bzw. nach unten umgelenkt. Durch die Geometrie dieser Strömungsfalle 21 wird das mit hoher Geschwindigkeit vom Probentisch 1 abströmende Prozeßgas 35 (Druckgas, CO₂-Gas, abgetragene Partikel 4) in eine zu den Ecken des Absaugringes 65 fließende Drallströmung 63 überführt. In den Ecken des Absaugringes 65 befinden sich Ventilatoren 61, die mit dem Absaugring 65 über Absaugöffnungen 64 in Verbindung stehen. Diese Ventilatoren erzeugen einen Absaugvolumenstrom über einen Absaugkanal 60, der den Fluß dieser Strahlströmung unterstützt und ein Rückfließen zum Probenträger verhindert.

Die Öffnungen 64 zwischen dem Absaugring 65 und dem Absaugkanal 60 befinden sich dabei ober- und unterhalb des Mittenknicks 66, so daß die gebildeten Wirbel 63 abgesaugt werden.

Das Absaugvolumen der Ventilatoren 61 wird über eine Drehzahlsteuerung ständig der Summe von laminarem Zuluft-Gasstrom 6 (siehe Fig. 2) und Reinigungsgasstrom 5 angepaßt. Der Zuluftstrom ermittelt sich über die

freie Querschnittsfläche des Absaugringes 65 und die
Zuluftgeschwindigkeit (Geschwindigkeit des
Reinstgasstromes 6). Die Berechnung des Reinigungs-
gasstromes 5 erfolgt im wesentlichen anhand des
5 Durchmesser der Kapillare 42 der CO₂-Zuführung, der
Geometrie der Lavaldüse 51 sowie des Vordruckes des
Druck/Stützgas in herkömmlicher Weise.

Das abgesaugte Gas wird anschließend von den Ventila-
toren 61 zu einer Prozeßabluftanlage 62 geblasen, wo
10 die abgesaugte Luft gereinigt, aufbereitet und/oder
weiterverwertet werden kann.

Mit diesem System wurden bereits verschiedene Teile
15 aus der Mikrosystem- bzw. Feinwerktechnik erfolgreich
gereinigt. Dazu gehören beispielsweise Kontaktflächen
von Mikroschaltern, Düsenelemente aus der Druck-
technik, auf einem Keramikträger aufgebaute Mikro-
chips und Stanzteile für den Bau von Schaltelementen.
20 Dabei wurden sowohl partikuläre Ablagerungen als auch
biotische und/oder abiotische Beschichtung wie bei-
spielsweise Fingerabdrücke oder dünne Lackschichten
entfernt.

25 Als weitere vorteilhafte Ausgestaltung, ist die CO₂-
Zuführung so ausgebildet, daß kurze CO₂-Strahlstöße
erzeugt werden können. Diese sind verglichen mit ei-
nem kontinuierlichen CO₂-Strahl wesentlich effek-
tiver, da hier im Vergleich zu der längeren Einwirk-
30 zeit des Trockeneisstrahles höhere Thermospannungen
erzeugt werden.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel für eine Reinigung mit der
erfindungsgemäßen Vorrichtung. Oben sind verkrustet
35 Düsen eines Tintenstrahldruckkopfes dargestellt, die
erfindungsgemäß gereinigt wurden. Im unteren Teil der

Abbildung ist ein Mikrochip auf einem Keramikträger dargestellt, dessen Verzunderung auf der rechten Seite zu sehen ist. Linksseitig ist in diesem Bild der gereinigte Bereich zu erkennen.

5

Fig. 7 zeigt eine Lackschicht, die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung behandelt wurde. Die Darstellung in Fig. 7 ist 50fach vergrößert. Wie zu erkennen ist, ist die Lackschicht teilweise mit dem erfindungsgemäßen Verfahren abgetragen worden. Deutlich ist die Rißbildung und die Absprengung vom Grundmaterial zu erkennen.

10

15

20

25

30

35

Patentansprüche

1. Strahlwerkzeug (2) zur Erzeugung eines Strahles aus CO₂-Schnee mit einer ersten Düse (49) zur Erzeugung eines CO₂-Schnee-Strahles und einer zweiten Düse (51) zur Erzeugung eines Stütz- bzw. Druckstrahles, wobei die zweite Düse (51) die erste Düse (49) umgibt, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Düse (51) eine Düse zur Erzeugung eines Überschall-Strahles ist.
2. Strahlwerkzeug (2) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Düse eine Laval-Düse (51) ist.
3. Strahlwerkzeug (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Düse (51) so ausgebildet ist, daß sie den Strahl der ersten Düse bündelt, vorzugsweise parallel bündelt, und/oder beschleunigt.
4. Strahlwerkzeug (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Düse (49) mit einer Kapillare (42) als Zuleitung verbunden ist.
5. Strahlwerkzeug (2) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapillare (42) elektrisch geerdet ist.
6. Strahlwerkzeug (2) nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Düse (49) als konische Erweiterung der Kapillare (42) ausgebildet ist.

- 5
7. Strahlwerkzeug (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Düse (51) die erste Düse (49) konzentrisch umschließt.
- 10
8. Strahlwerkzeug (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahlwerkzeug (2) eine Düsennadel (45) und einen diese umgebenden Düsenkopf (46) aufweist, wobei die erste Düse (49) in der Düsennadel (45) angeordnet ist.
- 15
9. Strahlwerkzeug (2) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Düse (51) als Zwischenraum zwischen Düsennadel (45) und Düsenkopf (46) ausgebildet ist.
- 20
10. Strahlwerkzeug (2) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontur der zweiten Düse (51) durch die Außenkontur der Düsennadel (45) und/oder durch die Innenkontur des Düsenkopfes (46) ausgebildet ist.
- 25
11. Strahlwerkzeug (2) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Düsennadel (45) längs des Düsenkopfes (46) verschiebbar ist.
- 30
12. Strahlwerkzeug (2) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß am unteren Ende der Düsennadel (45) eine Vorrichtung zur Lagerung und Zentrierung der Düsennadel (45) in dem Düsenkopf (46) angeordnet ist.
- 35
13. Strahlwerkzeug (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei-

te Düse (51) an ihrem Einlaß mehrere sternförmige Bohrungen zur Gaszufuhr aufweist.

- 5 14. Strahlwerkzeug (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in Strahlrichtung hinter der ersten Düse (49) eine Vorrichtung (50) zur Deionisation des CO_2 -Schnee-Strahles angeordnet ist.
- 10 15. Strahlwerkzeug (2) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (50) zur Deionisation einen zur ersten Düse (49) konzentrischen Metallring aufweist.
- 15 16. Strahlwerkzeug (2) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß der Metallring mindestens eine in den Strahlbereich ragende Ionisationsspitze aufweist.
- 20 17. Strahlwerkzeug (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (50) zur Deionisation über ein Hochspannungskabel (53) mit einem Ionisator verbunden ist.
- 25 18. Strahlwerkzeug (2) nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß der Ionisator regelbar ist.
- 30 19. Vorrichtung zur Behandlung, beispielsweise zur Abreinigung, der Oberfläche eines Objektes (1), beispielsweise eines Werkstückes oder eines Probentisches, durch Anstrahlen der Oberfläche mit CO_2 -Schnee
- 35 g e k e n n z e i c h n e t durch ein Strahlwerkzeug (2) zum Erzeugen eines Strah-

les aus CO₂-Schnee nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

- 5 20. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahlwerkzeug (2) und das Objekt (1) in einer Reinigungskammer (36) angeordnet sind.
- 10 21. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Reinigungskammer (36) von Reinstluft (6) durchströmt ist.
- 15 22. Vorrichtung nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Reinigungskammer (36) von der Reinstluft (6) turbulenzarm, quasilaminar durchströmt ist.
- 20 23. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden drei Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Reinigungskammer (36) einen Probentisch (1) zur Montage eines zu behandelnden oder abzureinigenden Werkstückes aufweist.
- 25 24. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß der Probentisch (1) beheizbar ist.
- 30 25. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß der Probentisch (1) elektrisch beheizbar ist.
- 35 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Probentisch (1) eine flache Metallplatte zur Befestigung des zu behandelnden oder abzureinigenden Werkstücks aufweist.

27. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch,
dadurch gekennzeichnet, daß die Metallplatte
mehrere Bohrungen aufweist und eine Vakuumpumpe
5 (23) zum Anlegen eines Vakuums an die Bohrungen
vorgesehen ist.
28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 27,
dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt derart in
10 der Reinigungskammer (36) angeordnet ist, daß
seine Oberfläche von der Reinstluft (6) senk-
recht prallend angeströmt ist.
29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 28,
gekennzeichnet durch eine, gegebenenfalls in der
15 Reinigungskammer (36) angeordnete Absaugvorrich-
tung (21) zum Absaugen von Luft von der Oberflä-
che des Objektes (1), mit einem Absaugrohr (65),
das das Objekt (1) in der Ebene der Oberfläche
20 vollständig umgibt und längs seines Innenumfangs
Gasdurchtrittsöffnungen aufweist.
30. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch,
dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt des
25 Absaugrohres (65) derart ausgebildet ist, daß
die abgesaugte Luft innerhalb des Rohres (65)
längs seines Querschnitts Wirbel (63) bildet.
31. Vorrichtung nach einem der beiden vorhergehenden
30 Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ab-
saugrohr (65) einen nierenförmigen Querschnitt
mit einer Einbuchtung längs seines Außenumfangs
aufweist.
32. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch,
35 dadurch gekennzeichnet, daß das Absaugrohr (65)

längs der Einbuchtung längs seines Innenumfangs als Gasdurchtrittsöffnung geöffnet ist.

- 5 33. Vorrichtung nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die längs des Außenumfangs des Absaugrohres (65) vorhandene Einbuchtung einen als spitz zusammenlaufende, nach innen weisende Kante ausgebildeten Mittenknick (66) aufweist.
- 10 34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß das Absaugrohr (65) mit mindestens einem Ventilator (61) zur Absaugung der Luft aus dem Absaugrohr (65) verbunden ist.
- 15 35. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Ventilator (61) in seiner Drehzahl regelbar ist.
- 20 36. Vorrichtung nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Ventilator (61) über Öffnungen (64) mit dem Absaugrohr (65) verbunden ist, die an
- 25 der Ober- und/oder Unterseite des Absaugrohres (65) angeordnet sind.
- 30 37. Vorrichtung nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Ventilator (61) über Öffnungen (64) mit dem Absaugrohr (65) verbunden ist, die seitlich des Mittenknicks (66) angeordnet sind.
- 35 38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß das Absaugrohr (65) ringförmig ausgebildet ist.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß das Absaugrohr (65) als Vieleck ausgebildet ist.
- 5
40. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß das Absaugrohr (65) zwischen je zwei benachbarten Ecken bogenförmig in Richtung des Objektes (1) gekrümmt ist.
- 10
41. Vorrichtung nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Ecke des Vielecks ein, vorzugsweise regelbarer, Ventilator (61) gemäß einem der Ansprüche 34 bis
- 15
- 37 angeordnet ist.
42. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß eine Aufbereitungsanlage für abgesaugte Luft und darin gegebenenfalls enthaltene Partikel vorgesehen ist.
- 20
43. Verwendung eines Strahlwerkzeugs (2) und/oder einer Vorrichtung zur Behandlung, insbesondere Abreinigung, von Oberflächen nach einem der vorhergehenden Ansprüche zum Reinigen von Oberflächen und/oder der Entfernung von Beschichtungen im Bereich der optischen Industrie, der Medizintechnik, der pharmazeutischen Industrie, der Lackiertechnik, der Mikrotechnik und/oder der
- 25
- Feinwerktechnik und anderen.
- 30
44. Verwendung nach dem vorhergehenden Anspruch zur Behandlung weicher Oberflächen, zur Entfernung partikulärer, biotischer und/oder abiotischer Beschichtungen und/oder Ablagerungen und/oder zur Entfernung von Lackschichten.
- 35

45. Verwendung nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche zur Behandlung von Oberflächen im sub- μ m-Bereich.

5

10

15

20

25

30

35

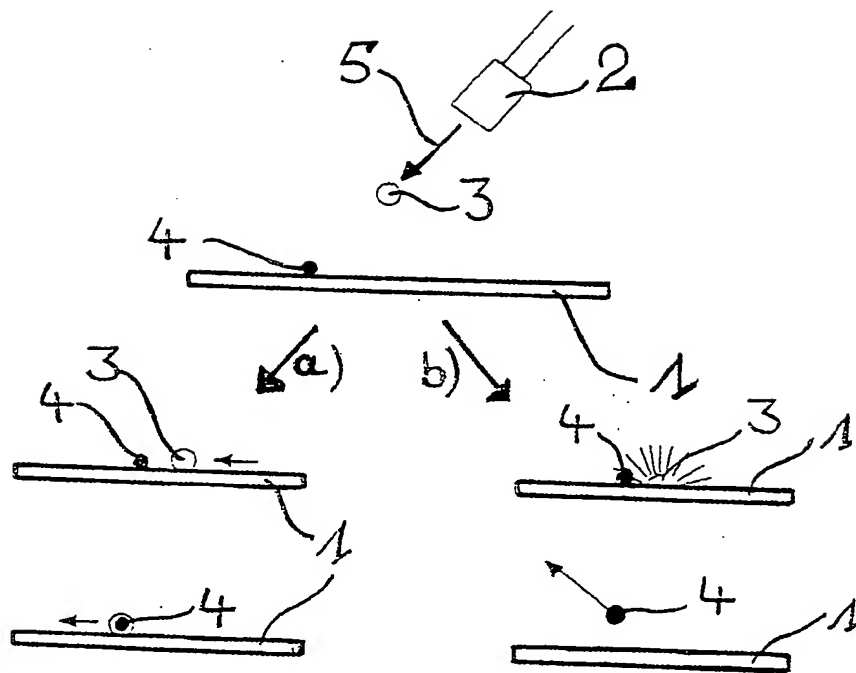


Fig. 1

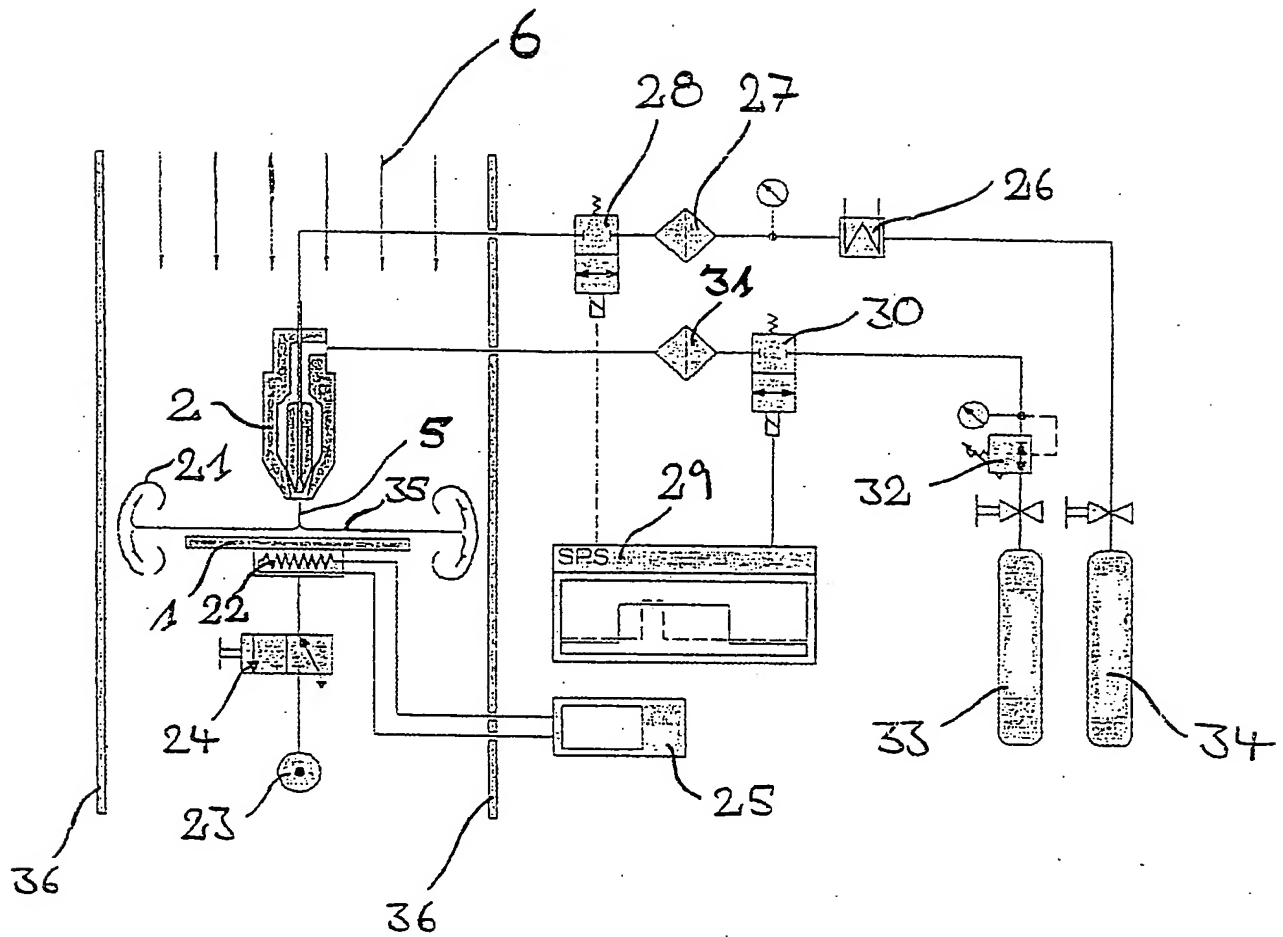


Fig. 2

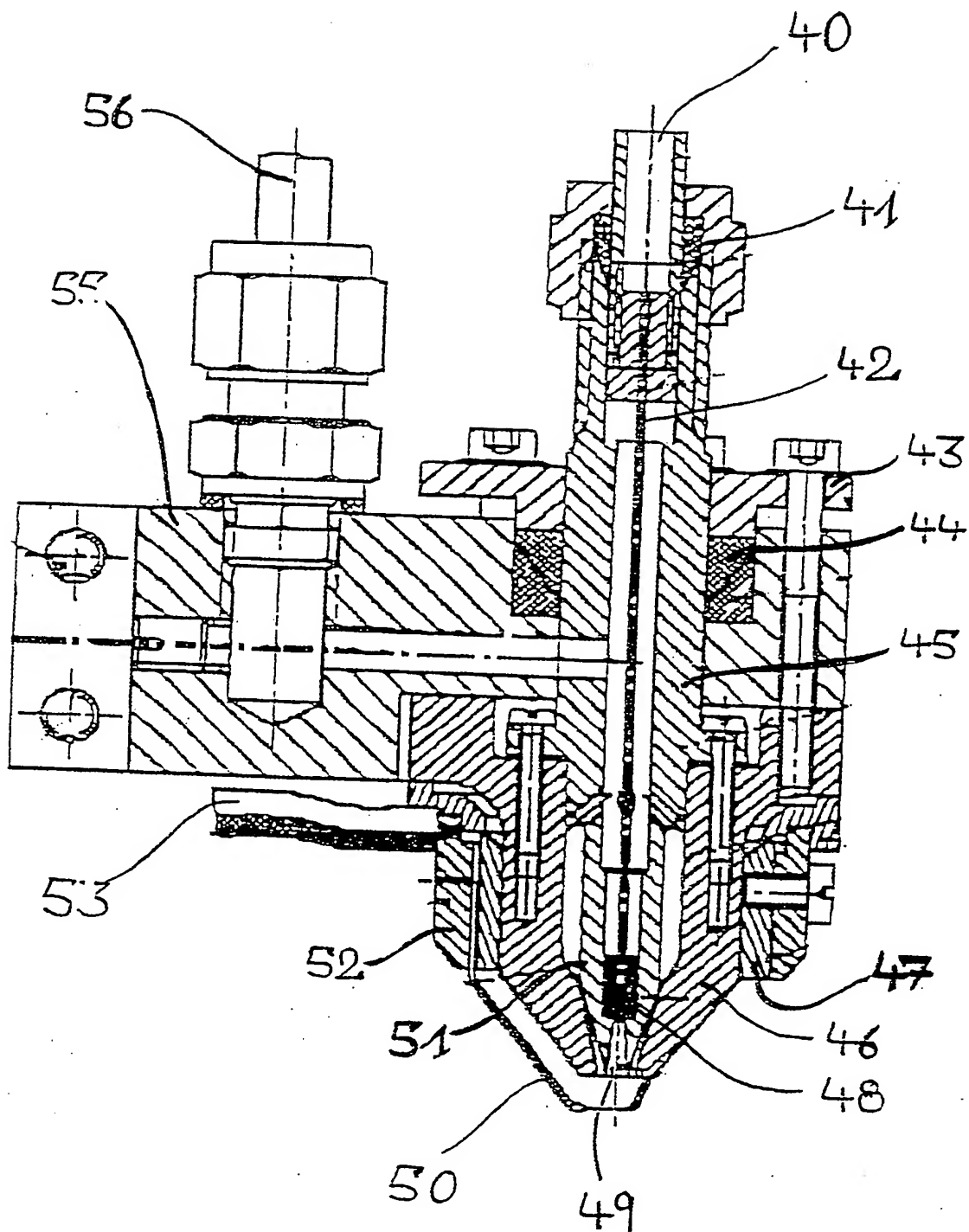


Fig. 3

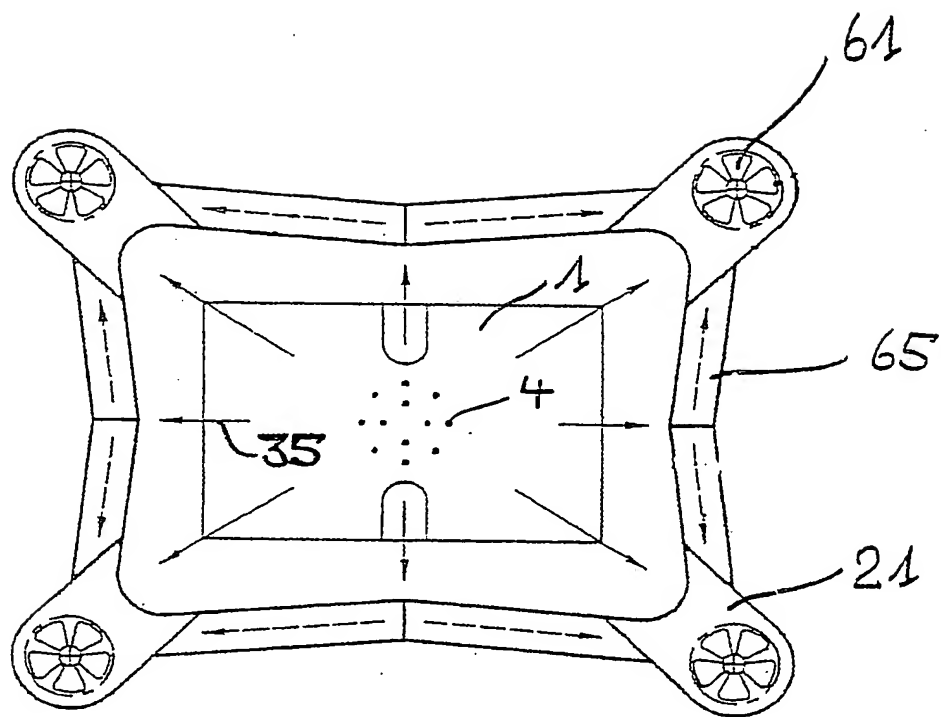


Fig. 4

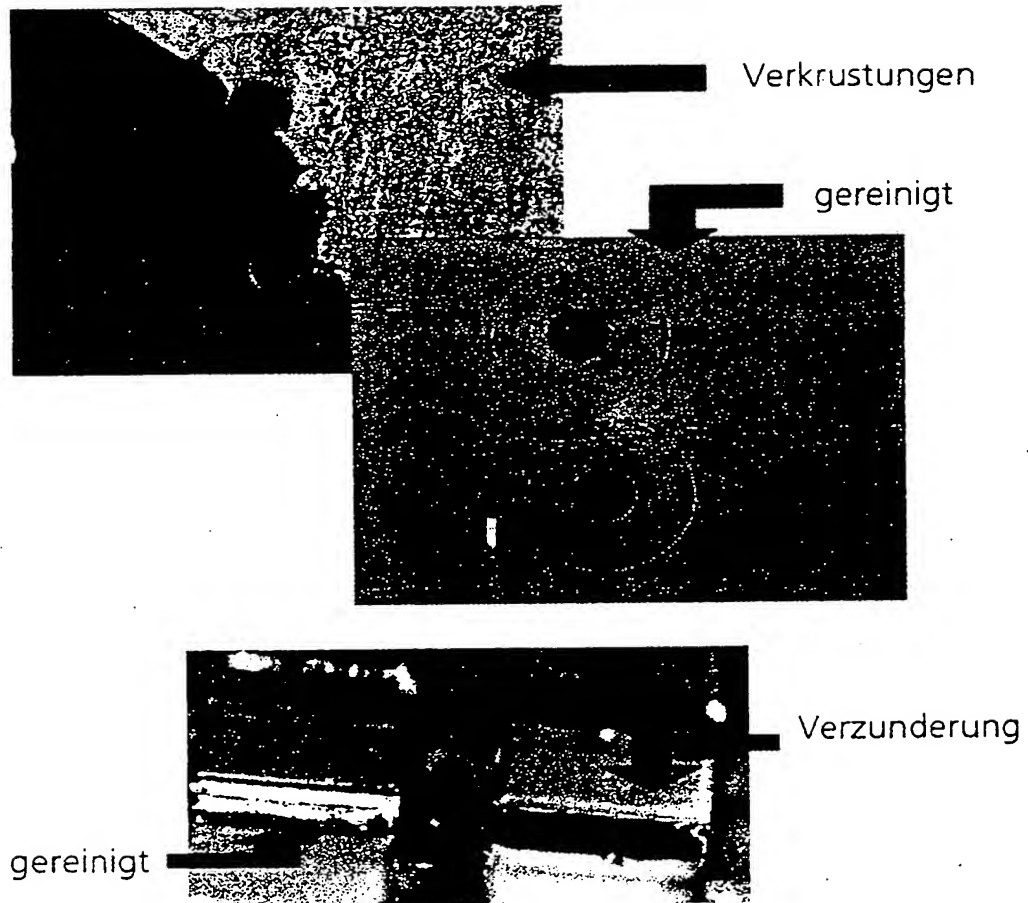


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. l. Application No

PCT/EP 00/05323

| Patent document cite ^a in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US 5125979 | A | 30-06-1992 | JP 4253331 A | 09-09-1992 |
| US 5681206 | A | 28-10-1997 | US 5601478 A | 11-02-1997 |
| | | | AU 682757 B | 16-10-1997 |
| | | | AU 1751495 A | 18-09-1995 |
| | | | CA 2183626 A | 08-09-1995 |
| | | | WO 9523673 A | 08-09-1995 |
| | | | EP 0746446 A | 11-12-1996 |
| | | | JP 9509620 T | 30-09-1997 |
| | | | US 5779523 A | 14-07-1998 |
| US 5725154 | A | 10-03-1998 | NONE | |
| DE 19740996 | A | 04-06-1998 | JP 10156229 A | 16-06-1998 |
| | | | CN 1184715 A | 17-06-1998 |
| | | | US 5918817 A | 06-07-1999 |
| EP 0882522 | A | 09-12-1998 | FR 2764215 A | 11-12-1998 |
| US 5364472 | A | 15-11-1994 | NONE | |
| US 5733174 | A | 31-03-1998 | US 5456629 A | 10-10-1995 |
| | | | AU 3995795 A | 12-03-1997 |
| | | | CA 2244657 A | 27-02-1997 |
| | | | EP 0843610 A | 27-05-1998 |
| | | | WO 9706923 A | 27-02-1997 |
| US 5837064 | A | 17-11-1998 | NONE | |
| US 5421766 | A | 06-06-1995 | NONE | |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.